

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号
特表2002-528744
(P2002-528744A)

(43) 公表日 平成14年9月3日(2002.9.3)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
G 0 2 B 21/32		G 0 2 B 21/32	2 H 0 5 2
B 0 1 J 19/12		B 0 1 J 19/12	4 G 0 7 5
B 8 1 C 5/00		B 8 1 C 5/00	5 F 0 7 2
H 0 1 S 3/00		H 0 1 S 3/00	A
審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 33 頁)			

(21) 出願番号 特願2000-577509(P2000-577509)
(86) (22) 出願日 平成11年9月30日(1999.9.30)
(85) 翻訳文提出日 平成13年3月30日(2001.3.30)
(86) 国際出願番号 PCT/US99/22527
(87) 国際公開番号 WO00/23825
(87) 国際公開日 平成12年4月27日(2000.4.27)
(31) 優先権主張番号 60/102, 418
(32) 優先日 平成10年9月30日(1998.9.30)
(33) 優先権主張国 米国 (US)

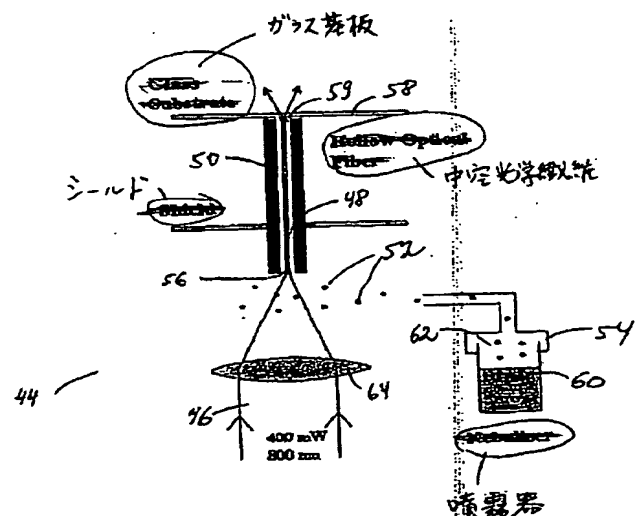
(71) 出願人 ボード・オブ・コントロール・オブ・ミシガン・テクノロジカル・ユニバーシティ
BOARD OF CONTROL OF MICHIGAN TECHNOLOGICAL UNIVERSITY
アメリカ合衆国ミシガン州49931, ホートン, (番地なし)
(71) 出願人 マイケル・ジェイ・レーン
アメリカ合衆国ニューメキシコ州87109, アルバカーキー, ノースイースト, マカラン・ロード 9634
(74) 代理人 弁理士 社本 一夫 (外5名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 非原子粒子のレーザガイドされる操作

(57) 【要約】

中空コア光学繊維の中空領域に非原子サイズの粒子を光学的に捕捉するレーザ光を用いる方法および装置が、開示されている。また、長い距離にわたって光学繊維に沿って捉えられた粒子を柔軟に移送する方法および装置が、記述されている。この発明は、光学繊維に沿って生化学的な組織およびエアロゾールを含む広い範囲にわたる種々の物質からなる粒子を操作して導き、種々の基板上に粒子を付着させることを可能にする。レーザガイド装置は、レーザ光束を発生させるレーザ光源を備えており、このレーザ光束は、焦点調節レンズによって中空コア光学繊維の入射端に導かれる。光学繊維を通過するように導かれる粒子の供給源は、光学繊維の入射端付近に所定の数の粒子を供給する。次いで、粒子は焦点調節されたレーザ光束によって光学繊維の中空コアに引き込まれ、光学繊維内をかすめ入射路に沿って伝えられる。粒子によるレーザ光の拡散、吸収および屈折によりレーザによって生じさせられた光学力は、光学繊維の中心付近で粒子を捕捉し、これを光学繊維に沿って進ませる。固体誘電体、半導体および固体粒子ならびに溶剤液滴を含



(2)

【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光束内部に拘束された一つあるいはそれ以上の非原子粒子を導く方法において、

前記レーザ光束内部に前記粒子を拘束し、光学的な導体の中空部分に前記レーザ光束を導き、

その際前記レーザ光束内部に拘束された前記粒子が、前記レーザ光束により導かれて前記中空部分内部を伝えられるようにした方法。

【請求項2】 さらに、前記レーザ光束内部に前記粒子を拘束する前に前記粒子の供給源を設けるようにした特許請求の範囲第1項に記載の方法。

【請求項3】 さらに、前記レーザ光束内部に前記粒子を拘束する前に前記レーザ光束を焦点調節する光学系を設けるようにした特許請求の範囲第1項に記載の方法。

【請求項4】 前記光学的な導体の前記中空部分を導く工程が、光学繊維のチャンネルを通過するように前記光束を導く工程を含むようにした特許請求の範囲第1項に記載の方法。

【請求項5】 前記レーザ光束を導く工程が、前記中空部分に前記光束を接続し、前記光束が、前記光学的な導体の長手方向軸にほぼ沿って前記中空部分を伝わるようにした工程を含むようにした特許請求の範囲第1項に記載の方法。

【請求項6】 前記中空部分が、気体あるいは液体で充填されているようにした特許請求の範囲第1項に記載の方法。

【請求項7】 一つあるいはそれ以上の粒子が、液体あるいは固体であるようにした特許請求の範囲第1項に記載の方法。

【請求項8】 一つあるいはそれ以上の粒子が、単一の物質により構成されているようにした特許請求の範囲第1項に記載の方法。

【請求項9】 一つあるいはそれ以上の粒子が、二つ以上の物質により構成されているようにした特許請求の範囲第1項に記載の方法。

【請求項10】 前記粒子の直線的なサイズが、約10 nm以上であるようにした特許請求の範囲第1項に記載の方法。

【請求項11】 基板上に粒子を付着させる方法において、

(3)

レーザ光束の波長よりも大きなサイズを備えた粒子を前記レーザ光束の内部に拘束し、

前記レーザ光束を光学的な導体の貫通チャンネルに導き、

前記チャンネル内に前記粒子を移送して前記レーザ光束により前記チャンネルに沿って伝播させ、および、

前記レーザ光束を前記チャンネルから射出させて前記粒子を基板上に付着させるようにした方法。

【請求項12】 さらに、前記基板上に付着する前記粒子を発生させる供給源を設けるようにした特許請求の範囲第11項に記載の方法。

【請求項13】 さらに、特許請求の範囲第8項に記載の工程に、複数の粒子を前記基板上に付着する工程を加えた特許請求の範囲第11項に記載の方法。

【請求項14】 さらに、前記基板上の異なる場所に前記粒子の付着ができるように前記基板を移動させるようにした特許請求の範囲第13項に記載の方法。

【請求項15】 前記レーザ光束を前記チャンネルから射出させるとともに前記粒子を前記基板上に付着させる工程が、前記基板上の所定の場所に前記粒子を付着させる工程を含むようにした特許請求の範囲第11項に記載の方法。

【請求項16】 物質を基板上に付着させる方法において、
前記物質を含む溶液を提供する工程と、
貫通チャンネルを備えた光学的な導体の第1の開口付近で前記溶液の少なくとも一部分を前記物質の複数の非原子液滴に変換する工程と、

レーザ光束を前記第1の開口方向に導きつつ、前記液滴を前記レーザ光束内部に拘束する工程と、

前記第1の開口と前記光学的な導体における第2の開口との間に前記液滴と共に前記レーザ光束を伝えることによって前記第1の開口から前記第2の開口に前記貫通チャンネル内部に前記液滴を移送する工程と、および、

前記レーザ光束が前記光学的な導体の前記第2の開口を射出した後に前記基板上に前記物質の前記液滴を付着させるようにした方法。

(4)

【請求項 17】 前記基板が、金属、合金、絶縁体、半導体、ポリマ、および、生化学物質からなるグループから選択されるようにした特許請求の範囲第 16 項に記載の方法。

【請求項 18】 前記物質が、金属、合金、誘電体、半導体、液体、および、生化学物質からなるグループから選択されるようにした特許請求の範囲第 16 項に記載の方法。

【請求項 19】 前記液滴サイズが、約 10 nm よりも大きいようにした特許請求の範囲第 16 項に記載の方法。

【請求項 20】 物質を基板に付着させる方法において、
一つあるいはそれ以上の粒子を提供する工程と、
第 1 の開口に向けてレーザ光束を導き、一つあるいはそれ以上の粒子を前記レーザ光束の内部に拘束する工程と、

貫通チャンネルにおける前記第 1 の開口と前記光学的な導体における第 2 の開口との間に前記拘束された一つあるいはそれ以上の粒子と共に前記レーザ光束を伝えて前記第 1 の開口から前記第 2 の開口に貫通チャンネル内部を一つあるいはそれ以上の粒子を移送する工程と、

貫通チャンネル内部にそれらを移送しつつ、一つあるいはそれ以上の粒子を処理して付着のために前記物質を用意する工程と、および、

前記レーザ光束が前記光学的な導体の第 2 の開口から射出した後、前記物質を前記基板上に付着させる工程とを備える方法。

【請求項 21】 一つあるいはそれ以上の粒子の処理が、化学的あるいは熱的な処理を含んでいるようにした特許請求の範囲第 20 項に記載の方法。

【請求項 22】 一つあるいはそれ以上の粒子を設けることが、一つあるいはそれ以上の液滴を設けることであるようにした特許請求の範囲第 20 項に記載の方法。

【請求項 23】 一つあるいはそれ以上の液滴を設ける工程が、
溶媒に前記物質を溶解することによって溶液を用意し、および、
前記溶媒を一つあるいはそれ以上の液滴に変換する工程を含むようにした特許請求の範囲第 22 項に記載の方法。

(5)

【請求項 24】 一つあるいはそれ以上の粒子が、サイズで約 10 nm よりも大きく、あるいは、容積において 10^{-21} リットルよりも大きいようにした特許請求の範囲第 20 項に記載の方法。

【請求項 25】 一つあるいはそれ以上の粒子が、液体部分と固体部分からなるようにした特許請求の範囲第 20 項に記載の方法。

【請求項 26】 前記固体部分が、前記基板上に付着される前記物質であるようにした特許請求の範囲第 20 項に記載の方法。

【請求項 27】 光学的な導体の貫通チャンネル内部に粒子を拘束する方法において、

第 1 のレーザ光束内部に前記粒子を拘束する工程と、

拘束された粒子と共に前記第 1 のレーザ光束を前記光学的な導体の第 1 の開口を介して前記チャンネル内部に導く工程と、

第 2 のレーザ光束を前記光学的な導体の第 2 の開口を介して前記チャンネル内部に導く工程と、および、

前記第 1 および第 2 のレーザ光束を前記チャンネル内部に互いに向かい合うように伝えることによって前記チャンネル内部に前記粒子を拘束する工程とを備える方法。

【請求項 28】 前記光学的な導体が、水平であり、および、前記第 1 および第 2 の開口が、互いに向かい合うように配置されているようにした特許請求の範囲第 27 項に記載の方法。

【請求項 29】 さらに、前記レーザ光束の両方の強度を変化させあるいは前記レーザ光束の一方の強度を変化させて前記チャンネル内部に拘束された粒子の位置を変化させる工程を含むようにした特許請求の範囲第 27 項に記載の方法。

【請求項 30】 光学的な導体の中空部分内部に粒子を拘束する方法において、

レーザ光束内部に前記粒子を拘束する工程と、

拘束された粒子と共に前記レーザ光束を前記光学的な導体の第 1 の開口から前記中空部分内部に導く工程と、および、

(6)

前記粒子の速度がおよそ0に落ちるまで前記レーザ光束を前記中空部分内部に伝えて前記中空部分内部に前記粒子を移送する工程とを備える方法。

【請求項31】 前記光学的な導体が、ほぼ上下方向に配置されているようにした特許請求の範囲第30項に記載の方法。

【請求項32】 さらに、前記レーザ光束が第2の開口から前記光学的な導体を射出するようにした特許請求の範囲第20項に記載の方法。

【請求項33】 一つあるいはそれ以上の粒子を光学的な導体の中空部分内に導くようにした装置において、

前記光学的な導体が、第1の開口を備え、および、

レーザ光束が、前記レーザ光束内部に拘束される一つあるいはそれ以上の粒子を導きつつ、前記第1の開口を介して前記光学的な導体の前記中空部分に入ることができて前記中空部分内部に伝わり、一つあるいはそれ以上の粒子のサイズが、原子サイズよりも大きくなるようにした装置。

【請求項34】 さらに、一つあるいはそれ以上の粒子を供給する供給源を設けるようにした特許請求の範囲第33項に記載の装置。

【請求項35】 さらに、前記レーザ光束を焦点調節するための光学系を設けるようにした特許請求の範囲第33項に記載の装置。

【請求項36】 前記レーザ光束が、第2の開口から前記光学的な導体を射出するようにした特許請求の範囲第33項に記載の装置。

【請求項37】 前記中空部分が、貫通チャンネルであるようにした特許請求の範囲第33項に記載の装置。

【請求項38】 前記中空部分が、液体あるいは気体媒体により充填されているようにした特許請求の範囲第33項に記載の装置。

【請求項39】 一つあるいはそれ以上の粒子を基板に付着させる方法において、

貫通チャンネルを備えた光学的な導体と、

前記レーザ光束内部に拘束される一つあるいはそれ以上の粒子を導きつつ、前記第1の開口を介して前記光学的な導体の前記貫通チャンネルに入ることができて前記貫通チャンネル内部に伝わるレーザ光束とからなり、および、

(7)

前記基板が、第2の開口を介して前記チャンネルを射出する前記レーザ光束が前記基板に接触することを可能にするように配置されているようにした装置。

【請求項40】 前記第1および第2の開口が、前記光学的な導体の両端に配置されているようにした特許請求の範囲第39項に記載の装置。

【請求項41】 一つあるいはそれ以上の粒子が、サイズで約10 nmよりも大きく、あるいは、容積において 10^{-21} リットルよりも大きいようにした特許請求の範囲第39項に記載の装置。

【請求項42】 前記基板が、前記粒子が付着できる複数の場所を備えているようにした特許請求の範囲第39項に記載の装置。

(8)

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、一般的には、光ガイドの分野に関する。さらに詳しくは、この発明は、レーザ光束内に非原子粒子を拘束してレーザ光束内に拘束された粒子を中空コアの光学繊維に導く方法および装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

原子サイズ粒子の放射圧ベースの移送が、このような粒子の高精度の非機械的な操作を達成するために使われてきた。光束内に配置された原子は、光学的な周波数における原子の分極率に依存して高い強度の領域から引き付けられたり、追い払われたりする。特に、非原子粒子のレーザガイドは、レーザ光束内の粒子の拘束や必要なやり方でレーザ光束内に粒子の拘束を可能にする力を発生する光の偏向や分散から生じる光学力を利用している。このような光学力の存在は、多数の光学的なトラップに使われてきた。例えば、光学的なピンセットが、正確に焦点調節された高出力レーザ光束の焦点付近において誘電体粒子の捕捉を可能にするとともにウイルス、バクテリア、微生物、血球および植物細胞、および、染色体のような生化学的な粒子を操作するために使われている。光学的なピンセットは、水媒体中の小さな粒子の操作を使用者に可能にするが、空気中での操作はできない。原子のための光学的なトラップは、捕捉された原子の超低温衝突や集団効果の研究において使われている。

【0003】

正確に焦点調節されたレーザ光束内に原子を捕捉し、レーザ光束とともに原子を移送する最も知られている技術は、この捕捉がレーザの焦点付近の小さな領域のみで行なわれるという限界を有している。結果として、光学的なトラップを用いる撮像および検出装置が、サンプル室の周囲に構成されなければならない、これは、しばしば、装置における室の大きさを制限する。粒子の捕捉と移送は室の内部で行われるので、このような撮像および検出装置は、レーザ光束が室の外から調節されることを必要とする。その上、一般的には、室内のバックグラウンド媒

(9)

体が乱れたり、対流を生じたりするので、光学的トラッピング力が、レーザ光束内で粒子を捉えるのに十分ではない。その上、光学的なピンセット方法および装置においては、ほとんど透明な粒子のみが、レーザ光束内の粒子に働く軸方向の力が光束内の粒子を捕捉できるという光学的な特性を備えている。

【0004】

もっと長い距離にわたって種々の媒体を介して粒子を操作するやり方を改善し、および、一つの真空システムから他の真空システムに低温の粒子を移送するために、中空コア光学繊維を介して原子を導く技術が、考案された。光学繊維にガイドされる原子は、やはり光学繊維内をガイドされる光によって光学繊維の内面から偏向される。光学繊維内をガイドされたレーザ光によって引き起こされる光学的な力は、中空コア光学繊維の内壁から原子を反射させるのに使える。このような設定において、レーザ光は、最低次元のかすめ入射モードに接続され、レーザ周波数は、赤側に転換され、従って、原子は、光学繊維の中心において高強度領域に引き付けられる。この通路の光学繊維内をガイドされた原子は、横断面方向に損失のない振動と軸方向に制限のない運動を受けることになる。

【0005】

光学繊維内に粒子を導く方法は供給源から必要な目標まで粒子を操作して移送する手段の開発が進歩のステップであったが、この方法の根本的な限界は、操作される粒子の原子サイズであった。原子サイズのために、ガイドを行なうレーザ光束の波長は原子遷移の波長に近くなければならないので、それ自身の操作は真空中のみにおいて実行可能であり、従って、特別な真空室を必要とした。原子粒子それ自身の移送は、広い範囲にわたる物質からなる原子の操作および移送をほとんど不可能にし、数種類の物質に限定される。ナノ製造処理（ナノメータサイズの構成を形成して原子をガイドして精密にそれらを基板上に位置決めする）において、原子を用いての処理は、すべての産業的に適用化可能な技術に望ましい大きな処理量の達成を可能にしない。

【0006】

従って、顕微鏡的な（非原子的な）粒子を直線のおよび湾曲した軌跡に沿って適切な媒体を通過して操作して導く方法および装置の提供に対するニーズがある

(10)

。また、非真空環境において広い範囲にわたる物質の粒子をガイドして様々な種類と形状の基板上に粒子を付着させることができる導く方法および装置の提供が望まれている。

【0007】

【課題を解決するための手段】

上述のニーズに取り組み、列挙された問題を解決するために、この発明は、非接触、非機械的な原子、クラスタおよびミクロンサイズの粒子に対する粒子ガイドを開発することを目的とする。この発明は、粒子を中空コア光学繊維の中空領域内に光学的に捕捉し、これらを長い距離にわたって光学繊維に沿って柔軟に移送するレーザ光を用いる方法および装置を提供しようとするものである。

【0008】

この発明のその他の目的は、光学繊維に沿って必要な目的部分に生化学的な粒子およびエアゾール粒子を含む広い範囲にわたる粒子を導く技術を提供しようとするものである。

【0009】

この発明のさらに他の目的は、製造目的上好ましい環境である、不活性ガス環境を含む自然の、水中のおよび気体中の環境において粒子を導く方法および装置を提供しようとするものである。

【0010】

この発明の目的は、また、供給源バックグラウンドから粒子を抽出した後に中空コア光学繊維内でのレーザガイダンス方法によって液体粒子および固体粒子を基板上に供給するものであり、使用者に、半導体、プラスチック、金属および合金、セラミックスおよびガラスを含む実質的には無制限の種々の基板上に、例えば、電気回路およびマイクロメカニカルな装置のようなミクロンサイズの表面構造の製造を可能にするものである。このような基板に付着させられた粒子は、金属および合金、半導体、プラスチック、ガラス、化学的な液滴および溶解物質あるいはコロイド状粒子の液滴であることができる。

【0011】

この発明の目的は、また、顕微鏡的な粒子の非接触の、非機械的な操作のため

(11)

に光学繊維粒子ガイドを使用することにある。粒子は、組織内において生化学的な粒子であるバクテリア、ウイルス、遺伝子、たんぱく質、細胞、および、DNA高分子を含む。粒子は、また、ガラスのような非有機質、ポリマ、および、液滴であることができる。

【0012】

この発明のその他の目的は、光学繊維の長さ方向における任意の場所に非原子粒子を光学繊維内に捕捉してこれらを制御するとともに操作する方法の提供にある。

【0013】

特に、レーザガイド装置は、焦点調節レンズによって中空コア光学繊維の入射端に導かれるレーザ光束を発生させるレーザ光源を備えている。光学繊維を通過するように導かれる粒子の供給源は、光学繊維の入射端付近において所定数の粒子を供給する。粒子は、次いで、焦点調節されたレーザ光束によって光学繊維の中空のコアに引き込まれ、光学繊維内をかすめ入射路に沿って伝えられる。粒子によるレーザ光の拡散、吸収および屈折によりレーザによって生じさせられた光学力は、光学繊維の中心付近で粒子を捕捉し、これを光学繊維に沿って進ませる。固体誘電体、半導体および固体粒子ならびに溶剤液滴を含むいかなるミクロンサイズの物質も、これらの光学力の発揮による正味の効果によって、レーザ光束内に捕捉されて光学繊維に沿って移送される。光学繊維の所定長を搬送された後、粒子は、必要な基板上に付着させられるかあるいは分析室内に導かれ、または、特定のアプリケーションの目的に従って処理される。

【0014】

この発明のその他の実施例において、粒子操作の同じ原理が、中空コア光学繊維内部に粒子を浮揚させる目的で使うことができる。このような装置において、正確に焦点調節されたレーザ光束に捕捉された粒子あるいは液滴は、上下方向に配置された光学繊維内に引き込まれる。光学繊維の所定の距離において、推進軸方向光学力が、粒子に働く重力によってバランスされる。このような力のバランスが、バランス位置における粒子浮揚を生じさせ、推進力の大きさの評価を可能にする。同様に、粒子が光学繊維の両端から入射する2本のレーザ光束によって

(12)

水平に配置された光学繊維に捕捉されたときは、粒子は、光学繊維内部の或るバランス位置に浮揚し、そこでは、レーザ強度の変化が、光学繊維の中心に粒子を拘束している力の大きさの評価を可能にする。

【0015】

光学繊維を介して基板上に粒子を導くことによって、必要な形状を備えたミクロンサイズの構成が、ミクロンサイズの粒子の直接付着によって製造される。このような構成は連続的な粒子の補給の継続により作られるが、このような粒子は、粒子の空中溶解と、これに引き続く基板上への熔融液滴の癒着、固体粒子と液体先駆物質の同時付着を含むような種々の技術によって基板上に一体的に溶着でき、その際液体が、レーザ加熱により固体粒子、液体先駆物質の基板上への癒着と引き続く分解における隙間を充填するように働いてレーザによる付着物質の焼結あるいは化学的な結合により基板上に最終製品を形成する。

【0016】

【発明の実施の形態】

この発明の以下に行なわれる説明は、添付の図面に従って実行され、この発明を実施する特定の好ましい実施例が、説明のために示される。それらの説明は、当該技術に通常の知識を備えた者であれば、この発明を実施できるような詳細にわたるものであり、その他の実施例を用いることも、論理的、機械的、化学的および電気的な変更を加え得ることも、この発明の要旨および技術的な範囲を逸脱することなく行ない得ることは明らかであろう。従って、以下の詳細な説明は、発明を限定するものではなく、この発明の要旨は、添付の特許請求の範囲にのみ定められている。

【0017】

光学力は、粒子／環境インターフェースにおける光の反射と屈折により発生される。粒子サイズが入射光の波長に比較して大きいときは、粒子に働く力は、幾何学的な光線近似で説明できる。図1において、レーザ光束からの単一のレーザ光線10は、周囲の媒体の屈折率 n_m よりも大きな屈折率 n_s を備えた球体12に衝突するように描かれている。この実施例において、球体12は、光学的に透明な物質により構成された、従って、光線10に対して光学的に透明な誘電体球体

(13)

である。インターフェース14に入射すると、光線10は、このインターフェースにおいて部分的な反射と屈折を受ける。インターフェース14において反射される入射光線10の一部分は、放射圧として周知である。まず、光線10の一部分は、光線10が入射点16において球体12に入射するとき、反射されて球体12の面に直交するとともに球体の中心に向かって導かれる放射圧 F_2 を発生させる。第2に、光線10が射出点18において球体12を射出するとき、やはり球体12の面に直交するが外側に向かう放射圧 F_4 を発生させる。光線が点16および18において球体を出入するとき、球体12の面において屈折される光線10の部分は、力 F_1 および F_4 を発生させる。力 F_1 は、球体12の内部に伝えられる屈折光10の方向に直交する。同様に、力 F_3 は、球体を射出した後球体12の外側に伝えられる再度屈折される光線10の方向に直交する。力 F_1 — F_4 の和は、球体内部の複数回の反射により生じる力に加えて、光線10から球体12に働く総合的な力を与える。

【0018】

球体12に入射するすべての生じうる光線によって与えられる総合的な力が演算されて加算されると、この和は、二つの正味の力を生じる。最初の正味の力は、レーザ強度の増加する径方向に向かって働く拘束力（グラジエント力としても知られる）である。第2の正味の力（放射圧としても知られる）は、レーザ光束のz軸に沿って働いてレーザ伝播の方向に沿って球体12を推進する結果を生じる。結果的に、球体12にレーザ光束によって与えられる光学力は、レーザ光束の中心に向けて球体を引っ張るとともに光束の伝播方向に沿って球体を加速する。この発明において使われる光学繊維を介して非原子粒子を導く機構は、原子を導く機構とは異なることに気付くことが重要である。特に、光学繊維内で非原子粒子を拘束するとともに推進する光学力は、図1に関連して説明したような光の非共鳴拡散に基づいている。これに対して、原子レーザガイダンスは、レーザフィールドと原子間の共鳴反応に基づいている。

【0019】

放射圧およびグラジエント力のこのような大きさを得るためには、高い強度を備えたレーザフィールドが必要であり、これは、通常、正確に焦点調節されたレ

(14)

一ザ光束によって達成される。結果として、粒子を捕捉して推進するのに十分な光学力は、光学繊維の中空コアにおけるレーザ光束消費場所付近でのみ生じることができるのである。光学繊維において、高い強度の領域は、光学繊維の長さ方向に沿って延び、光学繊維内部における粒子の推進と拘束を与える。レーザ光束が光学繊維に沿って伝播するとき、光束は発散しないが、光学繊維の長さ方向に沿って延び、粒子を同じ光学繊維に沿って搬送することを可能にする。

【0020】

中空光学繊維に対する最低次光学モード結合のラジアルプロファイルは、図2に示されるように $X = 2.4 / \rho_0$ であり、 ρ_0 が、光学繊維の中空コア領域30の半径であるとき、0次のベッセル関数 $J_0(X\rho)$ によってうまく表現できる。最低損失のかすめ入射モードは、以下に与えられるラジアル ρ およびアクシャル z 強度を備えている。

【0021】

$$I(\rho, z) = I_0 [J_0(X\rho)]^2 \exp(-z/z_0) \quad (1)$$

ここで、 I_0 は、 $\rho = 0$ のときにおけるレーザフィールドの強度である。

z_0 は、以下によって与えられる減衰長である。

【0022】

$$z_0 = 6.8 (\rho_0^3 / \lambda^2) ([\nu^2 - 1]^{-1/2} / [\nu^2 + 1]) \quad (2)$$

ここで、 ν は、光学繊維壁の屈折率 n_f と中空コア領域における媒体の中空コア屈折率 n_m との比であり、 λ は、中空領域におけるレーザ波長であり、 z は、光学繊維開始端からの距離である。式(1)から、レーザフィールドの強度は、 $\rho = 0$ のときにおける光学繊維中心に最大値を有し、 $\exp(-z/z_0)$ のように光学繊維の長さに沿ってゆっくりと小さくなる。減衰長 z_0 は、粒子がガイドされ得る長さの限界を示している。一般的に、 z_0 は、特定の光学繊維形状、レーザ波長、および、光学繊維コアおよび壁の屈折率に対して式(2)を用いることによって計算される。(2)の評価は、100mまでのガイダンス距離における実際の限界を与える。

【0023】

レーザの波長よりも大きな半径を備えた誘電体粒子に与えられる光学力の計算

(15)

の実例が、図3に示されており、これは、強度プロファイル計算に対して幾何光と式(1)を用いる水充填光学繊維入射端付近における $7\mu\text{m}$ ポリスチレン球体 ($n_s=1.59$) 上の軸方向分散の径方向依存と径方向グラジエント力を示すものである。実験条件は、直径 3.6mm 、 240mw レーザ光束が、 90% の効率を持って $20\mu\text{m}$ 光学繊維に接続された。図3から明らかなように、グラジエント力40は、光学繊維の高い強度の中央領域に粒子を引き戻す回復力を示す光学繊維中心から僅かなずれを有してほとんど直線的に増加している。図3における軸方向の力42は、中心から僅かなずれを持ってほとんど一定である。

【0024】

上述した理論的な根拠と実験結果に示されるように、中空コア光学繊維内部の強いレーザ光束は適切なプロファイルを備えているので、捕捉された粒子は光学繊維内の流体によって緩衝され、粒子はレーザ光束内に拘束されて光学繊維の内壁で跳ね返ることなく光束と共に移送される。このようにして導かれる粒子のサイズは、約 50nm から約 $10\mu\text{m}$ の幅を有することができる。粒子の屈折率が大きくなればなるほど、この粒子に与えられる光学力は大きくなり、その結果、このような粒子の操作と移送をさらに容易にする。水滴、ポリスチレン球体の他に、光学繊維を介して導かれる物質は、 0.5W レーザと $17\mu\text{m}$ 内径空気充填光学繊維を用いた約 10nm から約 $10\mu\text{m}$ の範囲にわたる塩、砂糖、 KI 、 CdTe 、 Si 、 Ge 結晶、 Au および Ag 粒子である。図10の表1にリストアップされているのは、種々の基板上でレーザガイダンスにより操作される物質である。 Au および Ag のような金属粒子は、例えば、光をよく反射するとともに吸収は極めて少ないので、比較的大きな金属粒子が、中空の光学繊維に沿って迅速に移送される。その上、中空のコア光学繊維の使用は広い範囲にわたる粒子の操作を可能にするとともに多数の物質を移送する非接触で非機械的なやり方を実質的に使えるので、生体細胞が、液体の環境で光学繊維を介して操作されるとともに導かれる。いくつかのタイプの誘電体粒子を導く光学繊維の実施例の結果が、図8(c) - (d)に示されている。図8における光学繊維の小部分像のそれぞれが、CCDカメラにより撮像される。図8(a) - (c)は、水を充填された光学繊維内を導かれるポリスチレン球体のスナップショットである。図8(d)

(16)

) は、空気を充填された光学繊維内を導かれる粒子の例を示す。図8 (d) において拡散された光のトラックは、 $20\text{ }\mu\text{m}$ 直径の光学繊維内における $1\text{ }\mu\text{m}$ 水滴の軌跡を示している。

【0025】

粒子のレーザによるガイダンスにおける多くのアプリケーションの一つは、面の直接書き込みパターン化であり、これは、中空コア光学繊維を介して粒子を移送して移送された粒子を面に付着させるものである。図4に示されるレーザガイダンスおよび面パターン化装置44において、レーザ光46は、中空コア光学繊維50の中空領域48に焦点調節され、低い次数のかすめ入射モード内に導かれる。噴霧器54によって発生させられ、光学繊維入射端56付近に位置させられたエアロゾール粒子52は、光学的グラジエント力および拡散力によって中空領域48内に集中され、基板58に導かれる。最良の結果を得るために、大きな距離において、光学力は迅速に弱められるとともに粒子を拘束し続けられないので、基板58は、通常、光学繊維端部から $10\text{ }\mu\text{m}-300\text{ }\mu\text{m}$ の距離に配置される。

【0026】

面パターン化に用いられる物質は、通常、液体60内に溶解されるか懸濁されている。この物質は、例えば、チタン酸バリウム（電子技術の分野では共通的なキャパシタ材料である）のような結晶基板、あるいは、硝酸銀のような溶解された先駆物質からなることができ、移送中にレーザ光束内部で加熱されて最終製品として分解される。多くのその他の物質が、面に向けて移送されて面に付着せられる。エアロゾールミスト62が噴霧器54によって発生させられると、このミストは、中空光学繊維50の入射端56付近のレーザ光束46に導かれる。入射端56におけるレーザ拡散およびグラジエント力は、エアロゾール粒子52をレーザ光束46の中心に向かって引き付け、それらを光学繊維50内に押しやる。エアロゾール粒子が光学繊維50内を進むと、過剰の溶媒は蒸発し、固体結晶粒子を後に残す。先駆物質粒子の場合は、レーザ光束内部の加熱は、粒子を分解させ、例えば、硝酸銀を銀に分解して基板に付着させるように最終製品として付着を行なう。このような引き付け技術が、一般的に適用でき、広い範囲にわた

(17)

る物質をレーザ光束内に引っ張るように使われる。電子技術において実質的に使われる先駆物質は、入手容易であり、周知である。

【0027】

光学繊維50とレーザ光束46との結合は、ガウス光束使用に対して繊維モード半径を一致させたレンズ64の助けで達成される。装置44の実施例の一つにおいて、 $20\text{ }\mu\text{m}$ の内径を備えた光学繊維に対して、0.05の開口数(NA)を備えたレンズが、最低次モードにおいて90%以上の接続効率を可能にする。もっと大きな開口数を備えたレンズの使用も可能であり、これらのレンズは、迅速に減衰する高次のモードを励起する。十分な注意を入射レーザ光束と光学繊維との角度的な整合に払う必要があり、約1度のミスアライメントが、高次のモードを励起し、導かれた粒子が光学繊維の内壁に衝突することになる。

【0028】

説明的な実施例である図5において、パターン化実験結果が、上述されるとともに図4において示されている装置によってガラスカバースリップ上にダイオードレーザによって導かれるNaCl結晶について示されている。この例において、 $250\text{ mW}/\lambda=800\text{ nm}$ レーザ光束が、 $20\text{ }\mu\text{m}$ の内部中空コアを備えた8mm長光学繊維に接続されている。(その他の直接書き込み実験の成功例では、800nmの波長を備えた400mWレーザ光束が使われた)。NaCl結晶は、蒸留された水に溶解されて飽和溶液を形成している。溶液の液滴は、噴霧器によってレーザ光束内に送られる。光学力が粒子サイズの強い関数であり、粒子サイズの平方で近似される尺度であるので、最大の液滴が、優先的に捕捉されて光学繊維内に導かれる。液滴が光学繊維に沿って伝わり始めると、液滴中の水分は、光学繊維内部を約2mm進んだ後蒸発し、固体のNaCl結晶が形成され、残りの光学繊維に沿って導かれてガラスカバースリップに到達する。

【0029】

図5から明らかなように、最初の二つのパターン(それぞれ、66および68)は、ガラス面(図4におけるような基板58)に導かれて供給される単一のNaCl結晶に対応する。その他の三つのパターン(図5における70、72および74)は、多数のNaCl結晶によって形成される構造的な構成に対応してい

(18)

る。それぞれのパターンのスポット径は約 $5\ \mu\text{m}$ であり、ガイドとなる光学繊維の $20\ \mu\text{m}$ の直径に対しては非常に小さい。この観察は、径方向の光学力が中空コアの中心に対して結晶を拘束することを確認するものである。それぞれの結晶のサイズは、飽和した NaCl 溶液に対して約 $1\ \mu\text{m}$ であると推定される。基板上の結晶のサイズは、初期の溶液の NaCl 濃度を下げることによって小さくできる。

【0030】

直接書き込みのその他の実験例は、 BaTiO_3 、 In_2O_3 、 Ag 、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ および Al_2O_3 結晶付着のパターンを提供し、それらは、図6(a)、6(b)、6(c)、6(d) および 6(e) にそれぞれ示されている。図6(a)－6(e)の結晶の直線は、付着中に種々のマイクロメータ移動速度で引かれる。 BaTiO_3 結晶は、 $1\text{W}/532\text{nm}$ レーザによって導かれるとともに $14\ \mu\text{m}$ 直径 4mm 長の光学繊維に沿って移送される。

【0031】

基板58上に光学繊維50に沿って粒子を導くことにより（図4参照）、必要な形状のミクロンサイズの構成が製造される。上述したように、ナア製造と呼ばれるナノメータサイズ粒子の直接付着が、基板上に 100nm を下回る構成の形成を可能にし、これは、現在写真製版処理によって達成可能な最小の構成である。このような構成は、粒子の連続的な供給により形成されるので、粒子の空中溶解と、これに引き続く基板上への熔融液滴の癒着、固体粒子と液体先駆物質の同時付着を含むような種々の技術によって基板上に一体的に溶着でき、その際液体が、レーザ加熱により固体粒子、液体先駆物質の基板上への癒着と引き続く分解における隙間を充填するように働いてレーザによる付着物質の焼結あるいは化学的な結合により基板上に最終製品を形成する。構造的な特徴が、金属、半導体、および、絶縁体のような広い範囲にわたる物質について構成できる。図10における表1は、中空レーザガイダンスにより操作される種々のタイプの物質と、基板およびその直線的な寸法を示すものである。

【0032】

この発明はミクロン以下のサイズの面構成を作り出すことができるので、回路

(19)

板プリント処理へのこの発明の展開は、電気回路の密度を高める。回路は、上述したようなプラスチック、金属、セラミックス、および、半導体のような高能率の基板上に付着できる。レーザにガイドされる直接書き込みのその他の応用は、基板の形状に適合した回路構成を可能にする任意の形状の基板への直接書き込みである。ミクロンサイズの構造体へのこのような直接書き込みは、独特の識別マーカの書き込みに使用でき、急速に成長しているマイクロエレクトロメカニカルシステム産業における試作マイクロメカニカルデバイスにも使われている。その上、直接書き込み技術は実質的に制限のない種々の基板への電気回路の書き込みに使えるので、この技術を使える製品は、無線通信装置、「スマート」クレジットカード、生化学的な移植組織に埋め込まれた回路を含んでいる。

【0033】

高密度で連続的なミクロンサイズパターンを要求される電気回路製造は、この発明による直接書き込みレーザガイダンス方法により実現される。例えば、粒子はレーザ移送中に溶解することができるので、基板に対して一体的に流れる溶解された粒子は、完全に高密度のパターンとして基板に付着させられる。光学繊維入射端付近の高いレーザ強度 (10^{12} W/m^2) は、レーザ光吸収によりほとんどの物質を溶解させることができる。金属や合金のような吸収性の高い物質は、光学繊維入射端の最初の $10 \mu\text{m}$ 内において低い照度 (100 mW) で溶ける。透明ガラスやセラミックスのような吸収の低い物質の溶解は、その物質が吸収する波長を備えたレーザ光束あるいはより強力なレーザ光束のいずれかを必要とする。図4の装置において、光学繊維50の長さあるいは光学的な接続モードが調節され、入って来る粒子は、光学繊維入射端56において溶解されるが、光学繊維射出端59におけるレーザ強度は基板58の温度を小さくするように十分に低いものである。このような低い励起強度は、ガイドを行なう光学繊維の長さと直径の適切な選択により達成できる。

【0034】

基板上に物質を付着させるその他の方法は、付着への先駆物質の使用である。先駆物質とは、熱的あるいは化学的に分解されて必要な最終製品を生み出すことができる物質を意味している。この発明によるレーザ物質付着方法において、

必要な製品は、基板上に付着される物質である。例えば、硝酸銀は、水に溶ける塩である。従って、光学繊維内部に硝酸銀の液滴を導くレーザは、レーザ光束に拘束された液滴を加熱して最終的な物質、銀、を生み出し、これは、次いで、基板に付着させられる。あるいは、液滴の加熱が、べつの入手できる手段によって行なわれても良い。硝酸インジウムの加熱と溶解が、先駆物質を用いたレーザ付着のその他の実施例である。光学繊維内部におけるレーザ光束内での硝酸インジウムの加熱と溶解分解物は、透明な半導体、酸化インジウムである。

【0035】

基板上に必要な物質を付着させるさらにその他のやり方は、レーザガイダンスと付着を用いた必要な物質の小さな固体粒子を移送する液滴の使用である。移送中、液滴は、小さな固体粒子を残して蒸発し、この固体粒子は、次いで、基板に付着させられる。多くの場合、最終的に必要な物質そのものではなくて、先駆物質を導いて付着させる方がより容易である。

【0036】

図4における装置44が根拠にしているのと同じの原理が、個々の結晶をレーザ浮揚させるための装置および方法を提供するように使える。粒子が図4に示されるような上下方向に配置された光学繊維50に沿って導かれるとき、重力が、粒子を下方に吸引し、軸方向の光学力が、光学繊維の長さ方向上方に粒子を吸引する。この軸方向の力は光学繊維に沿って距離と共に小さくなるので、二つの力が最終的に互いにバランスし、粒子は、バランスされた高さにおいて浮揚している。このようなバランス位置において、粒子を上方に押し上げる軸方向の力の大きさは粒子を下方に引っ張っている重力の大きさと等しいので、装置44は、重力の大きさを計算することが困難ではないので、軸方向の力の測定装置として機能することができる。

【0037】

図7(a) - (d) のスナップショットは、空気充填された光学繊維の5 mmの湾曲部分内における5 μ mの水滴の浮揚を示すものである。240 mW/800 nmレーザ光束が、最低損失モードにおいて90%の効率で接続されている。光学的な顕微鏡により評価された5 μ mの水滴は、液滴の霧の中からレーザ光束

(21)

によって光学繊維内に導かれる。図7 (a) - (d) の液滴からの拡散光は、光学繊維を通過する液滴として裸眼で容易に観察できる。

【0038】

レーザ浮揚装置のその他の実施例が、図8に示されている。この実施例において、レーザ光束80と82は、光学繊維88の両端84と86からそれぞれ入射する。これらのレーザ光束80と82から光学繊維88の中空コア92内部において粒子90に与えられる軸方向の力は、反対の向きを備えるので、光学繊維の内部のバランス点において打ち消し合う。同じ点において、中空コア92の中心に対して粒子90を拘束する力が、大きさを倍にする。レーザ強度を小さくすることによって、粒子90は、中空コア92の下方部分に向かう重力によって下方に引っ張られる。重力は容易に計算できるので、粒子を下方に移動させる測定は、径方向の拘束力の大きさを与える。図8に示されているような種類のレーザ捕捉装置は、液体、塩、ガラス、および、金属を粒子の動的な振舞いと拡散を観察しつつ、液体、塩、ガラス、および、金属を捕捉するために数時間で構築され、テストされる。この捕捉装置において液滴を混合することによって、化学的な反応が、混合処理中に観察される。このような装置は、液滴を装置内で化学反応させつつ、レーザ光束内に拘束される液滴を癒着させるか加熱して液滴を混合して化学的な液滴の容器レス処理を行なうことができる。

【0039】

2光束レーザ捕捉装置のその他のアプリケーションは、図9にその概略を示す捕捉された粒子の発光スペクトルを記録する装置100である。捕捉装置は、光学繊維98の両端94と96に導かれるレーザ光束90と92によって形成される。光学繊維98のわずかに内部の点において、レーザ光束90と92からの光学的な拡散がバランスし、レーザフィールドが、光学繊維内部で粒子を拘束するとともに加熱する。レーザ光束90と92は、供給源91によって発生させられたレーザ光束を分割するビームスプリッタ93によって形成される。捕捉された粒子の光学的な発光スペクトルが、次いで、分光計99により記録される。装置100は、粒子を溶解する条件を決定するとともに操作することにより基板に対して粒子の高密度書き込みおよび接着を制御しつつ、行なうことができる優れた

(22)

機器である。この溶解のための条件は、粒子の放射から粒子の温度を測定することにより、および、材質、粒子サイズ、レーザパワー、および、光学繊維のサイズに基づいた温度測定により決定することができる。固相および液相間における粒子の位相の転移は、光学的な拡散パターンの変化から定めることができる。粒子の発光スペクトルおよび拡散パターンの組み合わせによる使用は、溶解温度およびこの直接レーザ書き込みを制御する条件を厳密に決定する。

【0040】

特定の実施例が図示されて説明されたが、同じ目的を達成するために計算されたいかなる構成も図示され説明された特定の実施例と置換し得るものであることは、当該技術に通常に知識を備えた者には自明のことであろう。従って、この出願は、この発明のいかなる応用も変形も包含するものである。従って、この発明は、以下の特許請求の範囲によってのみ限定されるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】

図1は、粒子に加えられる光学力の概略図である。

【図2】

中空コア光学繊維の前面図である。

【図3】

照射位置による光学力の依存性を示すグラフである。

【図4】

レーザガイダンス装置の概略図である。

【図5】

NaClパターン例の顕微鏡写真である。

【図6】

BaTiO₃、In₂O₃、Ag、Al(NO₃)₃、および、Al₂O₃のそれぞれの結晶付着を示す顕微鏡写真である。

【図7】

空気の充填された光学繊維の湾曲部分内における水滴の浮揚を示すスナップショットである。

(23)

【図 8】

2 レーザ捕捉装置の概略図である。

【図 9】

2 レーザ捕捉装置のその他の実施例における概略図である。

【図 10】

種々の基板上でレーザガイダンスにより操作される物質をリストアップした表である。

【符号の説明】

請求項に該当する符号なし

【図 1】

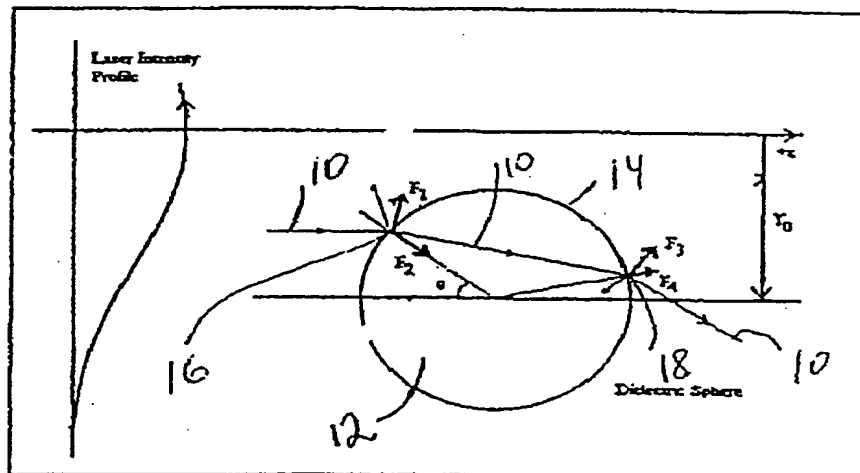


Fig. 1

(24)

【図2】

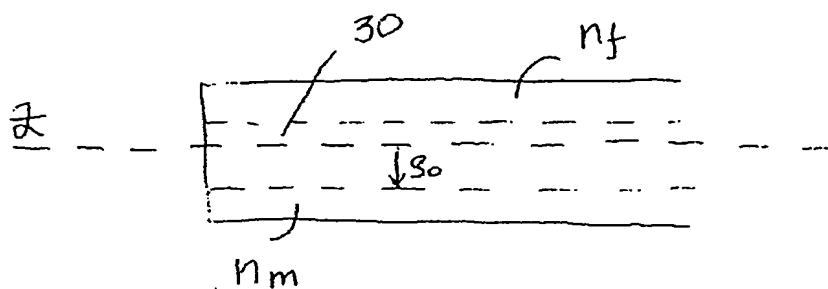
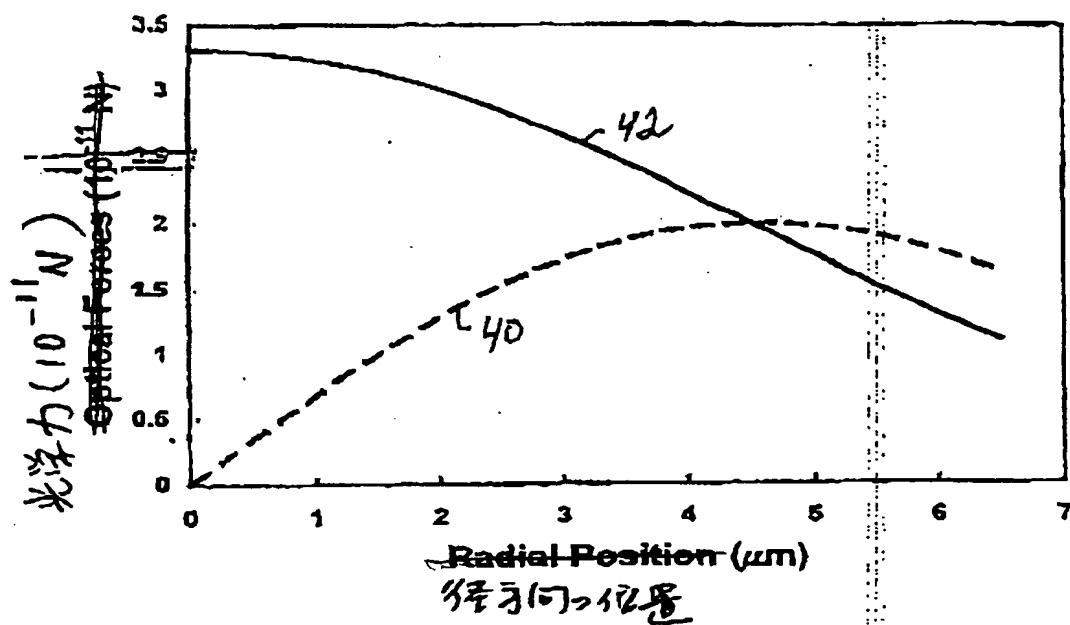


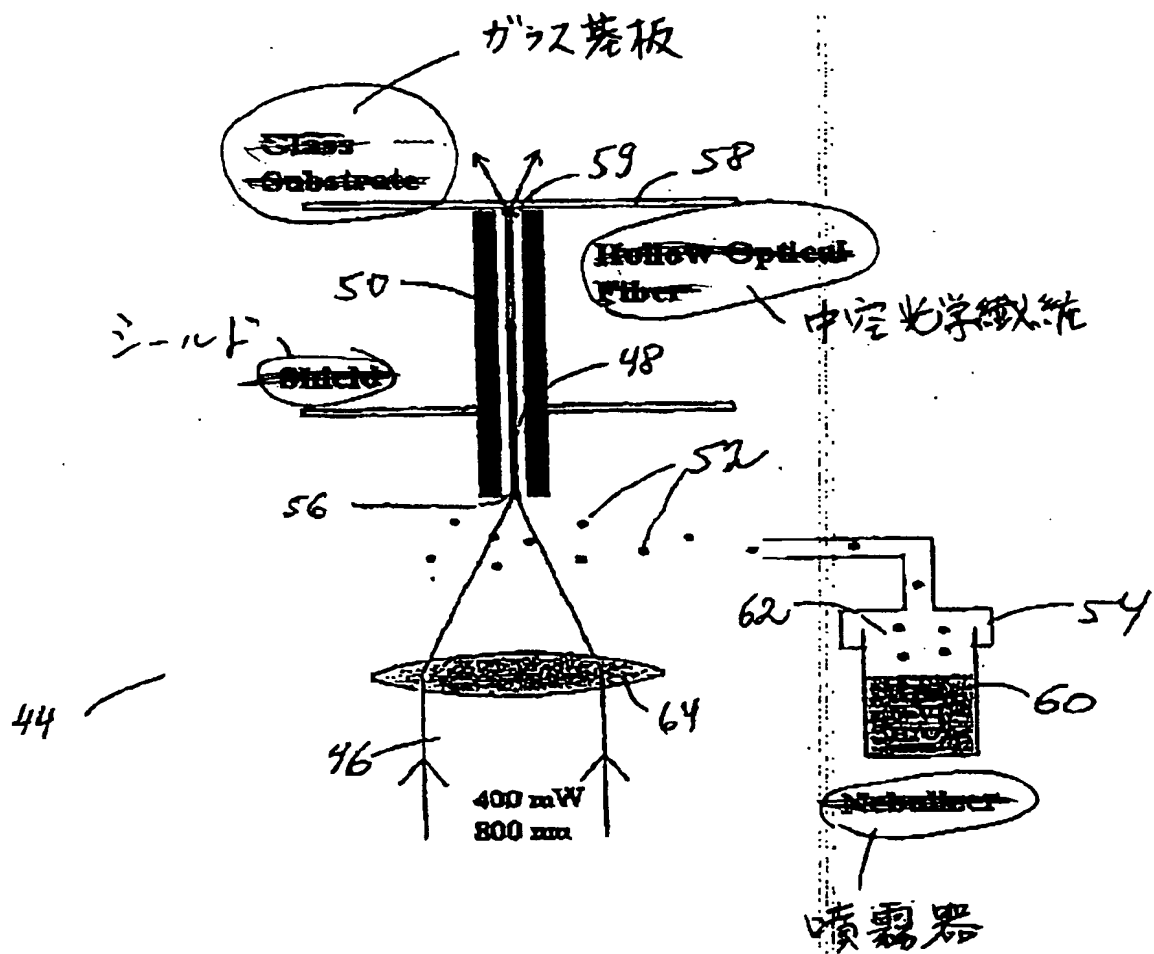
Fig. 2

【図3】



(25)

【図4】



(26)

【図5】

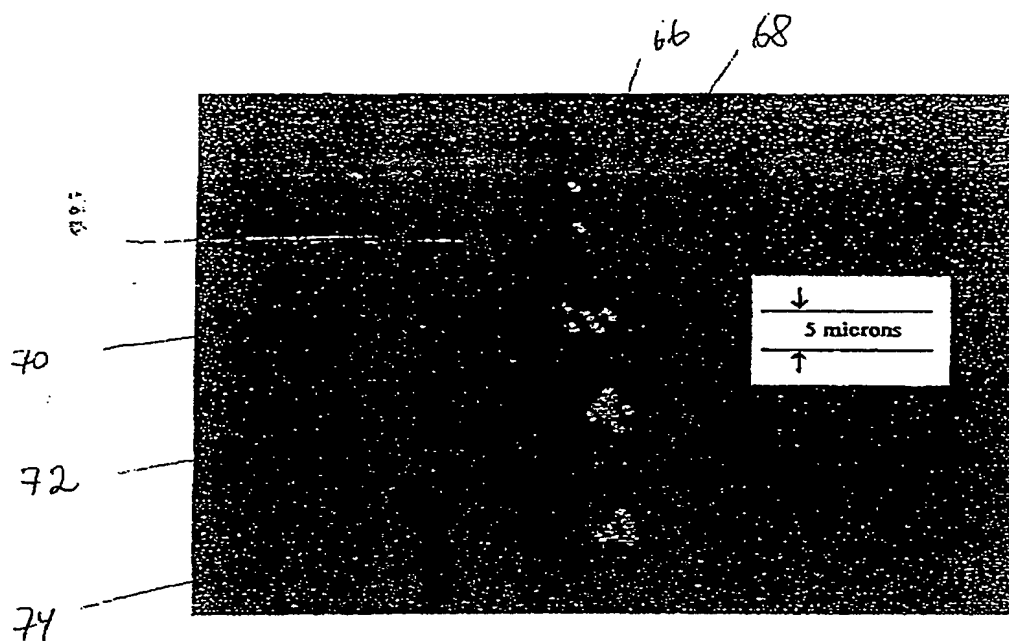


Fig. 5

(27)

【図6a】

チタン酸バリウム析着
~~Barium Titanate Deposits~~

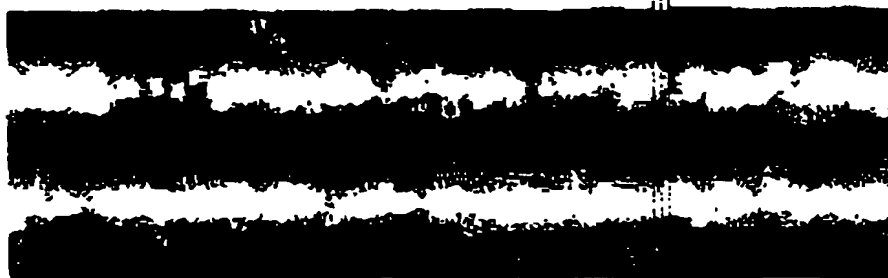


Fig. 6(a)

(28)

【図6 b・c】

二硫化インジウム(a)と銀(b)

~~Indium Oxide (a) and Silver (b)~~

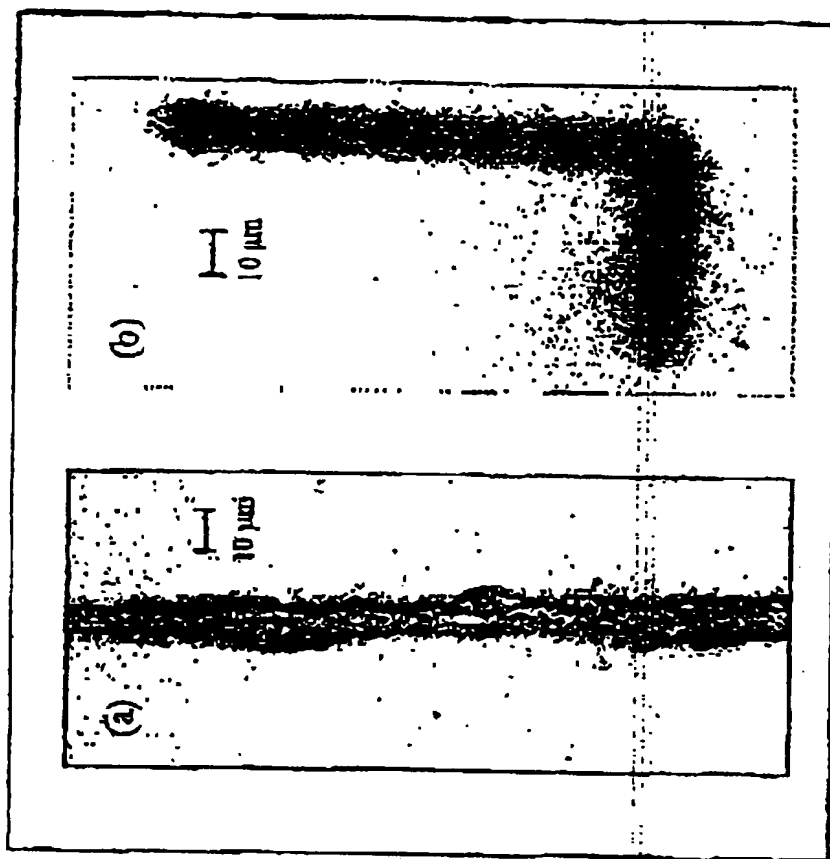


Fig. 6(b)

Fig. 6(c)

(29)

【図6d・e】

硝酸アルミニウム/酸化アルミニウム層
~~Aluminum Nitrate/Aluminum Oxide Deposits~~

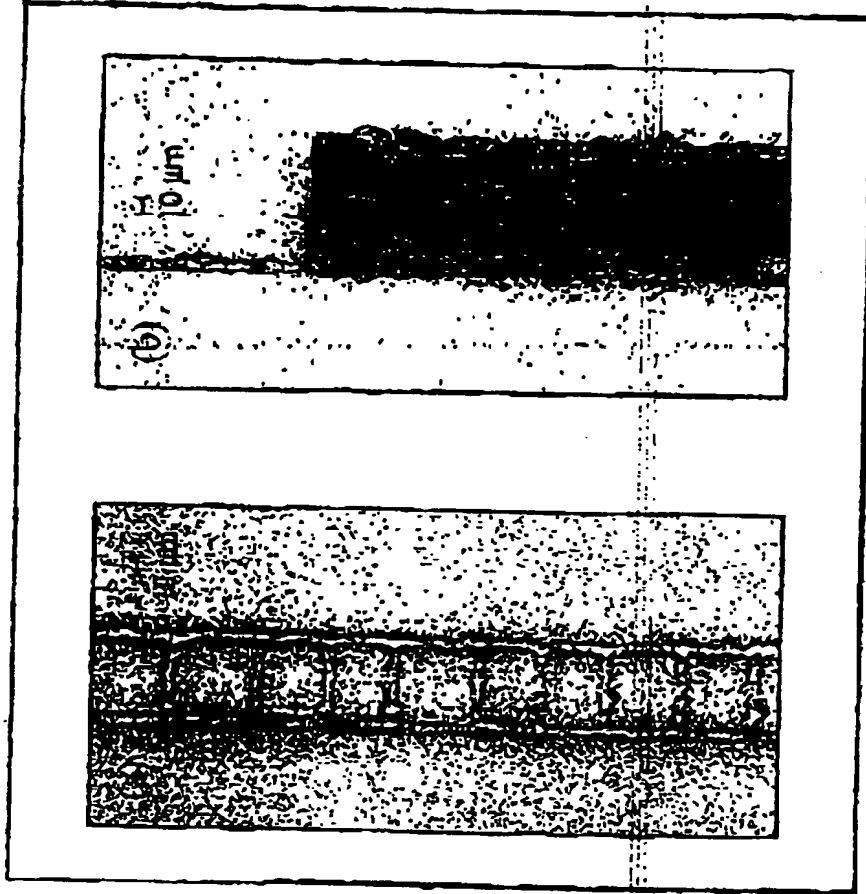


Fig. 6(d) Fig. 6(e)

(30)

【図7】

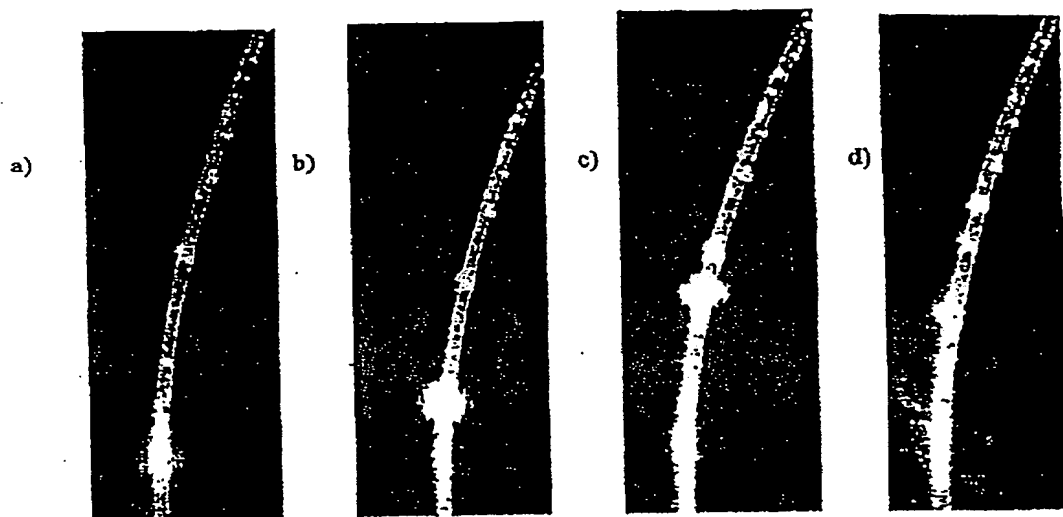


Fig. 7

【図8】

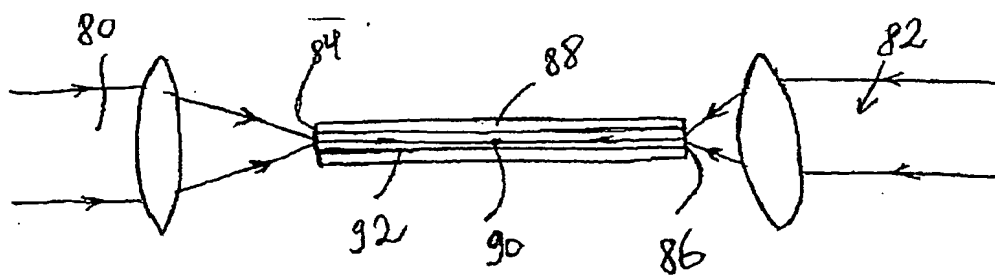
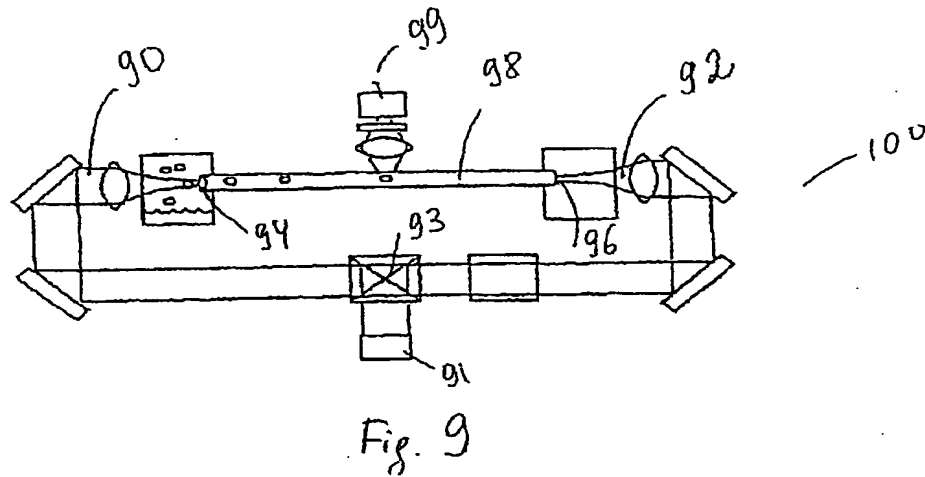


Fig. 8

(31)

【図9】



【図10】

表1.

操作される物質	
金属	Au, Ag, Pt, Rh, Pt
誘電体	ガラス, BaTiO_3 , Al_2O_3
半導体	Si, Ge, CdS, InO
液体	H_2O , 酸, アルカリ, 溶媒, 塩溶液
プラスチック	ポリスチレン
生化学物質	エレクトロ神経細胞, グラフト細胞, バクテリア, 微小管
使用される基板	
ガラス, セラミック, プラスチック, Si, Si, カプトン	
直線的な寸法	
$3\mu\text{m} \pm 0.5\mu\text{m}$	

(32)

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US99/22527

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
IPC(7) : B07B 1/26, G02B 6/00		
US CL : 209/301, 385/133		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
U.S. : 209/301, 385/133		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
None		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
EAST search terms: Guide, optical, hollow, particle, laser, trapping, transporting, radiation pressure force, gradient force.		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5,170,890 (Wilson et al) 15 December, 1992 (12/15/92), entire disclosure	1-26, 33-42
Y	US 5,254,832 (Gartner et al) 19 October, 1993 (10/19/93), entire disclosure	1-26, 33-42
Y	US 4,453,803 (Hidaka et al) 12 June, 1984 (6/12/84), entire disclosure	1-26, 33-42
Y	US 5,194,297 (Scheer et al) 16 March, 1993 (16/3/93), entire disclosure	1-26, 33-42
A	US 5,170,890 (Wilson et al) 15 December, 1992 (12/15/92), entire disclosure	27-32
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention	
"E" earlier application or patent published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone	
"I" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specific)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art	
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report	
6 April, 2000	18 APR 2000	
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703)305-3230	Authorized officer Frank G. Fontana Telephone No. (703) 308-0936	

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)

フロントページの続き

(81) 指定国 EP(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AP(GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW

(71) 出願人 デビッド・ジェイ・オッデ
アメリカ合衆国ミネソタ州55412, ニュー
ブライトン, シルバー・レーン 2200, ナ
ンバー302

(71) 出願人 ロバート・エル・バステル
アメリカ合衆国ミシガン州49931, ホート
ン, ウッドマー・ドライブ 2109エフ

(72) 発明者 マイケル・ジェイ・レーン
アメリカ合衆国ニューメキシコ州87109,
アルバカーキー, ノースイースト, マカラ
ン・ロード 9634

(72) 発明者 デビッド・ジェイ・オッデ
アメリカ合衆国ミネソタ州55412, ニュー
ブライトン, シルバー・レーン 2200, ナ
ンバー302

(72) 発明者 ロバート・エル・バステル
アメリカ合衆国ミシガン州49931, ホート
ン, ウッドマー・ドライブ 2109エフ

Fターム(参考) 2H052 AF19
4G075 AA27 AA61 BB10 BD01 CA36
DA02 EB32 EB34 EC30 FC04
5F072 LL17 YY20

【要約の続き】

むいかなるミクロンサイズの物質も、これらの光学力の発揮による正味の効果によって、レーザ光束内に捕捉されて光学繊維に沿って移送される。光学繊維の所定長を搬送された後、粒子は、必要な基板上に付着させられるかあるいは分析室内に導かれ、または、特定のアプリケーションの目的に従って処理される。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☒ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.